

Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren  
Gleichstrommotors

Stand der Technik

5

10

15

20

25

30

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus der Dissertation D 93 der Universität Stuttgart von Volker Bosch unter dem Titel „Elektronisch kommutiertes Einzelspindelantriebssystem“, Shaker Verlag, Aachen, 2001 bekannt. Bei derartigen, elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren, welche die Läuferlage nicht über Sensoren erfassen, ist die absolute Position des Rotors im Stillstand nicht bekannt. Zur Ausgangspositionierung des Motors wird deshalb der Rotor zu Beginn des Anlaufvorgangs zunächst in eine vorgegebene Ausgangsposition gebracht, indem zwei oder drei Stränge des Motors bestromt werden, sodass sich der Rotor entsprechend ausrichtet. Nach einer definierten Wartezeit erfolgt dann ein gesteuerter Anlauf des Motors durch schrittweise Bestromung weiterer Motorstränge. Hierbei liefert das in der genannten Veröffentlichung beschriebene Verfahren zur sensorlosen Läuferlageerfassung prinzipbedingt jedoch erst oberhalb einer bestimmten Minstdrehzahl des Rotors ein zuverlässiges Lagesignal, weshalb dieses Verfahren nicht direkt für den Anlauf des Motors verwendet werden kann. Dieser erfolgt somit gesteuert und nicht geregelt, das heißt, ein Blockieren des Rotors kann nicht sofort erkannt und ausgegeregelt werden. Für Motoren mit variabler Belastung ist dieses bekannte Verfahren daher nur bedingt geeignet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das bekannte Verfahren dahingehend zu verbessern, dass mit möglichst geringem technischem und wirtschaftlichem Aufwand auch der Anlauf eines derartigen Motors mit sensorloser Läuferlageerfassung geregelt erfolgen kann, wobei die Dauer und der Betrag der Anlaufbestromung an die jeweilige Belastung des Motors anpassbar sind. Hierdurch sollen neben einer schnellen Erkennung einer Blockierung des Motors ein zuverlässiger Anlauf unter starker Last, beziehungsweise ein Anlauf des Motors unter geringer Last in möglichst kurzer Zeit erreicht werden.

Die Aufgabe wird gelöst durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1.

Insbesondere ist es hierbei möglich, durch die sensorlose Lageerfassung des Rotors bereits im Stillstand eine zuverlässige, lastabhängige Regelung des Anlaufvorgangs des Motors zu erreichen und weiterhin nach Überschreitung eines vorgegebenen

5 Mindestwertes der Rotordrehzahl eine vorteilhafte andersartige Drehzahlregelung des Motors durch die Auswertung der dritten und/oder weiterer ungeradzahlgiger Oberwellen der Strangspannungen zu verwenden. Für die Ermittlung der Position des Rotors im Stillstand konnte hierbei auf ein aus der DE 101 62 380 A1 bekanntes Verfahren zurückgegriffen werden, mit dem sich eine Vorbestromung zum Verdrehen des Rotors in  
10 eine definierte Ausgangsposition erübrigt. Nach dem Anlaufen der Maschine und insbesondere bei hohen Drehzahlen wird dieses bekannte Verfahren jedoch sehr aufwändig und erfordert einen sehr leistungsfähigen und schnellen Rechner für die Ermittlung der jeweils aktuellen Rotorposition, deren Kenntnis für die Regelung notwendig ist.

15 Ab einer gewissen Minstdrehzahl des Rotors der Maschine kann mit Vorteil eine sensorlose Rotorlageerfassung auf der Basis der Detektierung der dritten Harmonischen verwendet werden, wie sie grundsätzlich in der EP 735 663 B1 oder in der genannten Dissertation D 93 der Universität Stuttgart beschrieben ist. Durch eine geeignete  
20 Kombination der beiden an sich bekannten, jedoch auf sehr unterschiedlichen Erkenntnissen und Methoden beruhenden Verfahren mit einer neuen Anlaufsteuerung wird es möglich, eine zuverlässige und preiswerte Regelung eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors zu schaffen, bei dem entsprechend der gestellten Aufgabe ein geregelter Start aus dem Stillstand heraus sowie eine zweckmäßige  
25 Regelung des Motors im Normalbetrieb erreicht werden.

Als besonders vorteilhaft für die schaltungstechnische Realisierung des Verfahrens hat es sich erwiesen, wenn nach der Ermittlung der Ruhelage des Rotors das aus den dritten und/oder weiteren ungeradzahlgigen Oberwellen der Strangspannungen einerseits über  
30 einen Sternpunkt der Statorwicklungen und andererseits über einen aus drei Phasenwiderständen gebildeten Hilfssternpunkt abgegriffene und integrierte Nullspannungssignal der Maschine einerseits im Stillstand und zu Beginn des Anlaufvorgangs des Motors über einen A/D-Wandler und andererseits im Bereich oberhalb eines vorgegebenen Mindestwertes der Rotordrehzahl über einen Komparator

mit Hysterese der Steuervorrichtung für die Schalteinrichtung des Motors zugeführt werden. So erhält man mit einem preiswerten Rechner einerseits eine einfache Positionsbestimmung des Rotors im Stillstand mit der Möglichkeit der lastabhängigen Bemessung und Regelung des Anlaufstromes des Motors und andererseits ohne den  
5 erforderlichen hohen Rechenaufwand für die jeweilige Bestimmung der Rotorlage bei hohen Drehzahlen die Möglichkeit zur Regelung der Maschine im Normalbetrieb.

Kern der Steuervorrichtung ist ein Mikrocontroller, welchem einerseits die Ausgangssignale eines Komparators für die Positionsbestimmung des Rotors im  
10 Stillstand und andererseits die Ausgangssignale eines Integrators zur Drehzahlregelung beim Anlauf und im Normalbetrieb zugeführt werden. Über die Ausgänge des Mikrocontrollers der Steuervorrichtung erfolgt in grundsätzlich bekannter Weise die Kommutierung und Steuerung der Phasenströme mittels einer vorzugsweise mit MOSFET-Transistoren aufgebauten Vollbrücken-Wechselrichterschaltung, welche über  
15 einen zugeordneten Transistortreiber mit Pulsweitenmodulation betrieben wird.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus der Beschreibung des Ausführungsbeispiels sowie aus den  
20 Unteransprüchen.

Die Zeichnung zeigt in

Figur 1 einen dreiphasigen, sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotor mit permanentmagnetisch erregtem Rotor und in  
25

Figur 2 den prinzipiellen zeitlichen Verlauf des integrierten analogen Rotorlagesignals während des Anlaufs.

In Figur 1 sind mit 10 der Pluspol und mit 12 der mit Masse verbundene Minuspol einer Gleichspannungsquelle bezeichnet, welche einen als sechspulsige Umrichterbrücke mit MOSFET-Transistoren aufgebauten Wechselrichter 14 speist. Die Ausgänge des Wechselrichters sind über Zuleitungen 16,18,20 mit den Phasenwicklungen U,V,W des Stators 22 eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors verbunden, dessen permanentmagnetisch erregter Rotor mit 24 bezeichnet ist. Ein  
30

Doppelpfeil 26 am Rotor 24 zeigt, dass dieser in entgegengesetzte Drehrichtungen angetrieben werden kann.

Über einen weiteren Ausgang des Wechselrichters 14 wird der Strom im  
5 Gleichspannungskreis bei der Beaufschlagung der Phasenwicklungen U,V,W mit  
Stromimpulsen zur Ermittlung der Rotorlage im Stillstand der Maschine einem an Masse  
liegenden Mess-Shunt 27 zugeführt. Der Spannungsabfall an dem Shunt 27 wird in einem  
Komparator 25 mit einer Referenzspannung  $U_{ref}$  verglichen und das Ausgangssignal des  
10 Komparators 25 zur Ermittlung der Rotor-Stillstandsposition einer Steuervorrichtung 54  
zugeführt, wo entsprechend dem durch die Position des Rotors bedingten schnellsten  
Stromanstieg in den Phasenwicklungen U,V,W die Rotorposition bestimmbar ist. Im  
Einzelnen ist dieses Verfahren in der DE 101 62 380 A1 beschrieben, auf die  
Ausführungen in dieser Druckschrift wird Bezug genommen.

15 Die Phasenwicklungen U,V,W sind zu einem Sternpunkt 28 zusammengeschaltet, ein  
weiterer Sternpunkt 30 wird mittels dreier Phasenwiderstände 32,34,36 gebildet, deren  
Enden einerseits zu dem Sternpunkt 30 zusammengeschaltet und andererseits mit den  
Zuleitungen 16,18,20 zu den Phasenwicklungen U,V,W verbunden sind. Die  
Phasenwiderstände 32,34 und 36 bilden weiterhin gemeinsam mit einem Widerstand 38  
20 einen ersten, mit Masse verbundenen Spannungsteiler, dessen Abgriff 37 mit dem  
negativen Eingang eines als Integrator 46 beschalteten Operationsverstärkers verbunden  
ist. Der positive Eingang des Integrators 46 liegt am Abgriff 41 eines aus zwei  
Widerständen 42 und 44 gebildeten Spannungsteilers, wobei das vom Abgriff 41  
abgewandte Ende des Widerstandes 44 gemeinsam mit dem entsprechenden Ende des  
25 Widerstandes 38 an Masse liegt. Der Integrator 46 ist dabei einteilig aus einem  
Operationsverstärker aufgebaut. Hinsichtlich des Fußpunktes der an die beiden  
Sternpunkte 28 und 30 angeschlossenen Spannungsteiler kann es erforderlich sein, die  
miteinander verbundenen Enden der Widerstände 38 und 44 an eine gestrichelt  
dargestellte Hilfsspannungsquelle 48 anzuschließen, welche bei Verwendung einer  
30 unipolaren Spannungsquelle das Ruhesignal für die Lageerfassung bereitstellt.

Der Ausgang des Integrators 46 ist einerseits über einen A/D-Wandler 50 und  
andererseits über einen Komparator 52 mit Hysterese an einen Mikrocontroller ( $\mu C$ ) der  
Steuervorrichtung 54 angeschlossen. An weiteren Eingängen werden dem

Mikrocontroller ein Signal 56 für die Solldrehzahl der Maschine sowie das Ausgangssignal des Komparators 25 zugeführt. Die Ausgänge des Mikrocontrollers sind über einen Pulsweitenmodulator 58, einen Auf/Ab-Zähler 60 und einen Freigabeanschluss 61 mit einem Transistortreiber 62 für den Wechselrichter 14 verbunden. Der Auf/Ab-Zähler 60 liegt weiterhin auch am Ausgang des Komparators 52. Vom Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 erhält der Auf/Ab-Zähler 60 Signale über die Rotor-Startposition, ein Ladesignal, ein Freigabesignal sowie ein Signal für die Aufbeziehungsweise die Abwärtszählung entsprechend dem gewünschten Rechts- oder Linkslauf des Motors. Hierbei sind alle Verbindungsleitungen durch Einfachlinien dargestellt, die tatsächliche Zahl der Leitungen für die einzelnen Verbindungen ist jeweils durch eine Ziffer angegeben. Die Zuleitung zum Pulsweitenmodulator 58 ist mit 64 bezeichnet, die Zuleitung zum Zähler 60 für die Rotor-Startposition mit 66, die Zuleitung für das Laden des Zählers mit 68, die Zuleitung für die Freigabe des Zählers mit 70 und die Zuleitung für den Rechts- beziehungsweise Linkslauf mit 72.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors mit permanentmagnetisch erregtem Rotor arbeitet folgendermaßen:

Vor dem Starten des Motors wird zunächst mittels des Mess-Shunts 27, einer Referenzspannung  $U_{ref}$ , des Komparators 25 und des Mikrocontrollers  $\mu C$  die aktuelle Rotorposition im Stillstand ermittelt. Ein hierfür geeignetes Verfahren ist beispielsweise in der DE 101 62 380 A1 beschrieben. Hierbei wird zunächst eine Mehrzahl von kurzen Stromimpulsen über den Wechselrichter 14 auf die Phasenwicklungen U,V,W aufgeschaltet, wobei in den Statorwicklungen bei jedem Stromimpuls ein Stromanstieg erfolgt, dessen Anstiegsgeschwindigkeit von der Stellung des Rotors 24 abhängig ist. Die Zeiten bis zum Erreichen einer vorgegebenen Schwelle werden am Komparator 25 gemessen. Dabei wird eine Mehrzahl von Teststromimpulsen nacheinander so auf die Statorwicklungen aufgeschaltet, dass die Teststromimpulse im Stator über  $360^\circ$ (el.) um gleiche Winkelschritte versetzte Statordurchflutungsvektoren erzeugen. Zu jedem Statordurchflutungsvektor wird dabei die Stromanstiegszeit im speisenden Gleichspannungskreis gemessen, wobei die Phasenlage des Statordurchflutungsvektors mit der kürzesten Stromanstiegszeit die Rotorposition definiert. Im Einzelnen ist dieses für die Bestimmung der Stillstandsposition des Rotors geeignete Verfahren in der

vorgenannten Veröffentlichung detailliert beschrieben und braucht hier nicht nochmals ausführlich erläutert werden.

5 Nach der Bestimmung der Rotorposition wird vor dem Anlauf des Motors der Auf/Ab-  
Zähler 60 durch den Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 mit einem Startwert  
beaufschlagt, welcher der zuvor ermittelten Rotorstartposition entspricht. Das weitere  
Verfahren zum Starten und zur Drehzahlregelung der Maschine basiert dann auf einer  
10 Methode zur sensorlosen Läuferlageerfassung durch Auswertung der dritten und/oder der  
weiteren ungeradzahigen Oberwellen der Strangspannungen des Motors. Diese sind  
durch die nicht sinusförmige Feldverteilung im Luftspalt Oberschwingungsbehaftet,  
wobei wegen der zur Polmitte symmetrischen Erregerfeldverteilung nur die Oberwellen  
mit ungeraden Ordnungszahlen auftreten. Wegen des trapezförmigen bis  
15 rechteckförmigen Verlaufs der Luftspaltflussdichte hat hierbei insbesondere die dritte  
Oberwelle der Flussdichte, welche dann auch als dritte Oberwelle in den  
Strangspannungen erscheint, eine beachtliche Größe, die restlichen Oberwellen können  
bei der Betrachtung in der Regel vernachlässigt werden.

Durch die Sternschaltung der Phasenwicklungen U,V,W treten in den einzelnen  
Wicklungen keine dritten Stromüberschwingungen auf, da die in allen drei Phasen  
20 induzierten dritten Oberschwingungen in Phase und Betrag gleich sind. Die dritten  
Oberwellen bilden dabei ein Nullsystem, welches sich leicht aus der Spannungsdifferenz  
zwischen dem Sternpunkt 28 der Phasenwicklungen und einem künstlichen, durch die  
drei Phasenwiderstände 32,34,36 gebildeten Sternpunkt ergibt, da dieser künstliche  
Sternpunkt 30 kein Nullspannungssystem nachbildet.

25 Zum Starten des Motors wird nun zunächst die Spannungsdifferenz zwischen den beiden  
Sternpunkten 28 und 30 ermittelt, indem die beiden Sternpunktspannungen über die  
Abgriffe 37 und 41 von Spannungsteilern mit den parallel geschalteten  
Phasenwiderständen 32,34,36 und dem Widerstand 38, beziehungsweise den  
30 Widerständen 42 und 44 an die Eingänge des integrierenden Differenzverstärkers 46  
gelegt werden. Hierbei wird der Abgriff 37 des Spannungsteilers am Sternpunkt 28 der  
Phasenwicklungen auf den positiven Eingang und der Abgriff 41 am Spannungsteiler des  
Widerstands- Sternpunktes 30 auf den negativen Eingang des Integrators 46

aufgeschaltet. Die beiden Sternpunktspannungen sind dabei über die Spannungsteiler auf Massepotential bezogen.

Das Differenzsignal an den Eingängen des Integrators 46 ist eine reine Wechselspannung, die Amplitude des Differenzsignals ist proportional zu der Amplitude der Polradspannung. Da diese mit steigenden Motordrehzahlen zunimmt wird der verwendete Operationsverstärker als Integrator 46 beschaltet, um eine Übersteuerung zu vermeiden. Die beiden Funktionen des Operationsverstärkers bilden einen Integrator 46 mit Differenzeingängen, wobei am Ausgang des Integrators 46 eine Spannung mit konstanter Amplitude erzeugt wird. Weiterhin ergibt sich eine Phasenverschiebung der Ausgangsspannung des Integrators 46 gegenüber seiner Eingangsspannung der Art, dass die zeitliche Lage der Nulldurchgänge am Ausgang des Integrators 46 den Extremwerten der dritten Oberwelle und damit den Kommutierungszeitpunkten des Wechselrichters 14 entsprechen.

Figur 2 zeigt den prinzipiellen zeitlichen Verlauf des analogen Lagesignals  $\int U_3$  während des Anlaufvorgangs. Hierbei handelt es sich bis zum Zeitpunkt T1 um ein Ruhesignal. Zum Zeitpunkt T1 setzt sich der Rotor 24 in Bewegung, jedoch erst etwa zu dem Zeitpunkt T2 liefert das rechteckförmige Ausgangssignal des mit Hysterese arbeitenden Komparators 52 eine verwertbare Lageinformation. Hierbei kann sowohl die Kurvenform mit dem Wendepunkt bei T2, das nachfolgende Maximum oder Minimum oder auch ein absoluter Wert des Signals zur Ermittlung einer kontinuierlichen Lageinformation verwendet werden. Die gestrichelte Kurve in Figur 2 zeigt an, dass je nach Ausgangsposition des Rotors 24 das Signal entweder in der Form der durchgezogenen Linie nach dem Start des Motors ansteigen oder auch entsprechend der gestrichelten Linie abfallen kann, wobei die gestrichelte Linie einer Spiegelung an der Geraden durch den Ruhewert des Signals entspricht.

Das Rotorlagesignal am Ausgang des Integrators 46 wird gleichzeitig dem mit Hysterese arbeitenden Komparator 52 und dem A/D-Wandler 50 zugeführt. Am Ausgang des Integrators 46 steht ein analoges, in erster Näherung sinusförmiges Läuferlagesignal  $\int U_3$  zur Verfügung, welches über den A/D-Wandler 50 dem Mikrocontroller  $\mu C$  zugeführt wird, sodass die Steuervorrichtung 54 den Wert dieses Signals zu jedem Zeitpunkt erfassen kann. Der A/D-Wandler 50 stellt dem Mikrocontroller das aktuelle Lagesignal

als 8-Bit-Wert in binärer Form zur Verfügung, wobei jedem Durchgang des Rotorlagesignals durch den Ruhewert (Figur 2) genau eine fallende oder ansteigende Flanke entspricht.

5 Das binäre Signal des Komparators 52 liegt außerdem an dem binären Auf/Ab-Zähler 60 an, welcher mit jeder Flanke des binären Lagesignals um einen Wert aufwärts oder abwärts zählt. Der Zähler kennt dabei 6 Zustände entsprechend jeweils 60°el. der Lage des Rotors 24. Der Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 gibt über die Zuleitung 70 den Zähler 60 frei und bestimmt über die Zuleitung 72 durch die Zählrichtung aufwärts, 10 beziehungsweise abwärts die Drehrichtung des Motors. Über die Zuleitung 68 erhält der Zähler 60 das Signal „Laden“ woraufhin er mit einem 3-Bit breiten Startwert über die Zuleitung 66 entsprechend der zuvor ermittelten Startposition des Rotors 24 initialisiert wird. Von dem Auf/Ab-Zähler 60 werden dann die 6 möglichen Zählerstände als 3-Bit-Datum dem Transistortreiber 62 für den Wechselrichter 14 zugeführt, welcher aus dem 15 Zählerstand die zu aktualisierenden Schaltelemente bestimmt. Hierbei handelt es sich vorzugsweise um MOSFET-Transistoren.

Nach dem Auf/Ab-Zähler 60 wird auch der Pulsweitenmodulator 58 über die Zuleitung 64 durch den Mikrocontroller  $\mu C$  mit einem Startwert initialisiert. Die Steuerung der 20 Schaltelemente des Wechselrichters 14 erfolgt entsprechend dem durch den Pulsweitenmodulator 58 über den Transistortreiber 62 vorgegebenen Tastverhältnis, wobei dem Pulsweitenmodulator 58 von dem Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 die Motorspannung als binäres Signal vorgegeben wird. Die Freigabe des Transistortreibers 62 erfolgt direkt durch den Mikrocontroller über den Freigabeanschluss 61. Über den A/D-Wandler 50 verfolgt nun der Mikrocontroller den Wert des analogen 25 Lagesignals, wie es in Figur 2 dargestellt ist. Er erhöht die den Phasenwicklungen U,V,W des Stators 22 vom Wechselrichter 14 zugeführte Motorspannung über den dem Pulsweitenmodulator 58 zugeführten binären Wert so lange, bis das analoge Lagesignal am Ausgang des Integrators 46 seinen in Figur 2 dargestellten Ruhewert zum Zeitpunkt T1 verlässt. In diesem Zeitpunkt wird das Haftmoment des Motors mit der 30 angeschlossenen Last überwunden und das Rotorlagesignal  $\int U_3$  steigt beispielsweise in der in Figur 2 dargestellten Form über seinen Ruhepegel an, durchläuft zum Zeitpunkt T1 erstmals einen Wendepunkt, zum Zeitpunkt T3 ein relatives Maximum oder Minimum und geht bereits zum Zeitpunkt T4 in einen nahezu sinusförmigen Verlauf entsprechend



der dritten Oberschwingung der Strangspannungen über. Weicht das analoge Rotorlagesignal  $\int U_3$  um einen definierten Wert von seinem Ruhepegel R ab, beziehungsweise durchläuft das Signal einen Wendepunkt, so gibt der Mikrocontroller den Auf/Ab-Zähler 60 frei, sodass dieser nun durch jede Flanke des binären Lagesignals am Ausgang des Komparators 52 selbsttätig um einen Schritt weiterzählt und hierdurch die Kommutierung des Motorstroms bewirkt. Anschließend erfolgt die Drehzahlregelung des Motors entsprechend dem an den Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 angelegten Signal 56 der Solldrehzahl über die Einstellung des Pulsweitenmodulators 58. Hierzu wird die Frequenz oder die Periodendauer des binären Rotorlagesignals am Ausgang des Komparators 52 durch den Mikrocontroller der Steuervorrichtung 54 ausgemessen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass man durch das erfindungsgemäße Verfahren zum Starten eines elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors in besonders vorteilhafter Weise nicht nur einen geregelten Betrieb des Motors im vorgegebenen Drehzahlbereichs erreicht, sondern auch das Anlaufen des Motors kann bereits in geregelter Form durchgeführt und auf Störungen überwacht werden. Dies wird ermöglicht, indem zunächst vor dem eigentlichen Startvorgang die Ruhelage des Rotors ermittelt wird, was bei stillstehendem Rotor nur eine geringe Rechengeschwindigkeit und demzufolge einen verhältnismäßig einfachen und preiswerten Mikrocontroller  $\mu C$  für die Steuervorrichtung 54 erfordert. Durch das anschließende gezielte Bestromen von zwei der Phasenwicklungen U,V,W in einer Weise, dass sich zwischen den Achsen von Rotor- und Stator durchflutung ein Winkel zwischen etwa  $60^\circ$ el. und  $120^\circ$ el. vorzugsweise von etwa  $90^\circ$ el. ergibt, erfährt der Rotor 24 aus dem Stillstand heraus das maximal mögliche beschleunigende Drehmoment. Anschließend wird der Strom in den Phasenwicklungen des Stators 22 so lange erhöht, bis der Rotor 24 sich zu drehen beginnt, wobei das Ausgangssignal des Integrators 46 seinen Ruhepegel R verlässt. Nach dem Überschreiten beziehungsweise Unterschreiten eines definierten Grenzwertes des Integratorsignals wird dann die Selbstkommutierung durch die Flanken eines binären Rotorlagesignals freigegeben. Durch die getroffenen Maßnahmen erreicht man also mit geringem schaltungstechnischem Aufwand eine lastabhängige Regelung ohne die Gefahr des Blockieren des Motors beim Anlauf.

## Ansprüche

1. Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors mit einem permanentmagnetisch erregten Rotor und einem eine  
5 mehrphasige, insbesondere dreiphasige Statorwicklung tragenden Stator, sowie mit einer von einer Steuervorrichtung gesteuerten Schalteinrichtung zum folgerichtigen Bestromen der Phasenwicklungen des Stators aus einer Gleichspannungsquelle, dadurch gekennzeichnet, dass im Rotorstillstand und zu Beginn des Anlaufvorgangs im Bereich unterhalb eines Mindestwertes der Rotordrehzahl durch die Steuervorrichtung (54)  
10 zunächst die Position des Rotors (24) ermittelt wird und anschließend über die Schalteinrichtung (14) eine geregelte Anfangsbestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators (22) erfolgt, während nach Erreichen des vorgegebenen Mindestwertes der Rotordrehzahl die Steuervorrichtung (54) aus den dritten und/oder aus weiteren ungeradzahligen Oberwellen der Strangspannungen direkt abgeleitete  
15 Lagesignale ( $\int U_3$ ) als Rotorpositionssignale für eine Selbstkommutierung des Motors erhält und hieraus Steuersignale an die Schalteinrichtung (14) liefert zur Bestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) im Normalbetrieb.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (54)  
20 im Rotorstillstand Stromimpulse auf die Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators aufschaltet und aus dem Stromanstieg in den einzelnen Wicklungen die Ruheposition des Rotors (24) ermittelt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dauer und/oder der Betrag der Anfangsbestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators (22) an die  
25 jeweilige Belastung des Motors angepasst werden.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die dritten und/oder die weiteren ungeradzahligen Oberwellen der Strangspannungen des  
30 Stators (22) einerseits über den Sternpunkt (28) der Phasenwicklungen (U,V,W) und andererseits über einen aus drei Phasenwiderständen (32,34,36) gebildeten Hilfs-Sternpunkt (30) einem Komparator (40) mit nachgeschaltetem Integrator (46) zugeführt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal des Integrators (46) im Stillstand des Motors und zu Beginn des Anlaufvorgangs über einen A/D-Wandler (50) und im Bereich oberhalb des vorgegebenen Mindestwertes der Rotordrehzahl über einen Komparator (52) mit Hysterese der Steuervorrichtung (54) zugeführt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (54) einen Mikrocontroller ( $\mu C$ ) aufweist, welcher als Eingangssignale die Signale eines A/D-Wandlers (50), eines Komparators (52) mit Hysterese sowie ein Solldrehzahl-Signal (56) erhält und mit seinen Ausgängen über eine Treiberstufe (62), eine Schaltereinrichtung (14) zur Bestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators steuert.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (54) über den Komparator (52) mit Hysterese nach Erreichen des vorgegebenen Mindestwertes der Rotordrehzahl fortlaufend binäre Lagesignale für die rotorlageabhängige Selbstkommutierung des Motors erhält.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ab einem vorgebbaren Wert des von dem Integrator (46) gelieferten analogen Rotorlagesignals ( $\int U_3$ ) zwischen seinem Ruhewert (R) und einer etwa sinusförmigen Schwingung (S) die Freigabe des Wechsels von der geregelten Anfangsbestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) zu der Kommutierungsregelung durch die Flanken des binären Ausgangssignals des Komparators (52) mit Hysterese entsprechend dem Verlauf der dritten Oberwelle der Strangspannungen erfolgt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Freigabe des Wechsels von der geregelten Anfangsbestimmung ( $T_2 > T > 0$ ) der Phasenwicklungen (U,V,W) zu der Regelung durch das Ausgangssignal des Komparators (52) mit Hysterese mit dem Erreichen eines ersten Wendepunktes ( $T_2$ ) des Ausgangssignals ( $\int U_3$ ) des Integrators (46) erfolgt.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Ermittlung der Stillstandsposition des Rotors (24) wenigstens zwei

R. 306090

- 12 -

Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators (22) mit einem Startwert derart bestromt werden, dass sich zwischen den Achsen der Rotor- und Statordurchflutung ein Winkel von  $30^{\circ}\text{el.}$  bis  $150^{\circ}\text{el.}$ , vorzugsweise von etwa  $90^{\circ}\text{el.}$  ergibt.

### Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zum Starten eines sensorlosen, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotors mit einem permanentmagnetisch erregten Rotor (24) vorgeschlagen, wobei der Stator (22) eine insbesondere dreiphasige Wicklung (U,V,W) trägt, deren geregelte Bestromung aus einer Gleichspannungsquelle bereits aus dem Stillstand heraus ermöglicht wird. Hierzu wird durch die verwendete Steuervorrichtung (54) im Rotorstillstand und zu Beginn des Anlaufvorgangs im Bereich unterhalb eines Mindestwertes der Rotordrehzahl zunächst die Position des Rotors (24) ermittelt und anschließend über die Schalteinrichtung (14) eine geregelte Anfangsbestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) des Stators (22) erzeugt, während nach Erreichen des vorgegebenen Mindestwertes der Rotordrehzahl die Steuervorrichtung (54) aus der dritten Oberwelle und/oder aus weiteren ungeradzahligen Oberwellen der Strangspannungen direkt abgeleitete Lagesignale ( $\int U_3$ ) als Rotorpositionssignale für eine Selbstkommutierung des Motors erhält und hieraus Steuersignale an die Schalteinrichtung (14) liefert zur Bestromung der Phasenwicklungen (U,V,W) im Normalbetrieb.

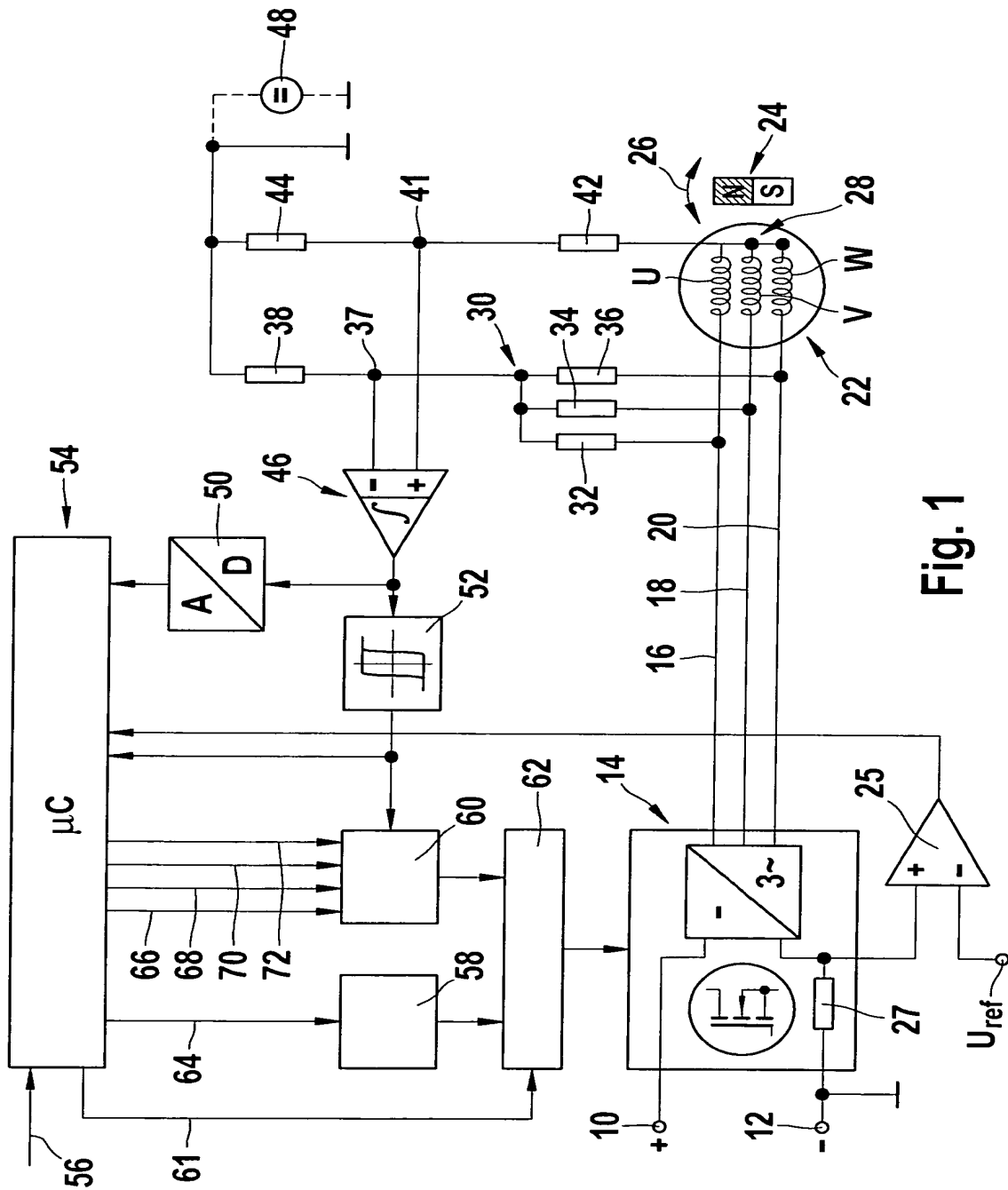


Fig. 2

